

# Approche multidimensionnelle d'un ensemble d'observations phytosanitaires par l'analyse en composantes principales

E. MAURÉ,<sup>(1)</sup> A. RENOU<sup>(2)</sup> et M. VAISSAYRE<sup>(3)</sup>

**Mots clé :** Cotonnier, Tchad, Bébedjia, 1978, entomologie, population d'insectes, dégâts d'insectes, rendement, essai sur le terrain, analyse statistique, analyse de données, insecticides.

## RÉSUMÉ

Les auteurs de cet article tentent de mettre en évidence, sur un ensemble d'observations phytosanitaires en culture cotonnière à Bébedjia (Tchad) en 1978, la complémentarité entre l'analyse en composantes principales et l'analyse de variance traditionnellement utilisée sur ce type d'expérimentation. L'analyse de variance appliquée aux résultats cumulés, d'observations sur le parasitisme en cours de campagne ou des rendements parceliaires des traitements mis en comparaison, fournit des éléments de décision entre ces traitements, au travers des classements des formulations avec un risque d'erreur choisi. L'analyse en composantes principales donne une image descriptive mais synthétique de tous les critères observés et de leur évolution dans la période d'étude. Cette description dynamique de leurs interrelations autorise un jugement, sur la contribution à la différenciation des formules testées, des différentes variables retenues et ouvre la voie à une attitude plus explicative des phénomènes sous-jacents ainsi qu'à une réorientation possible de leur choix.

## INTRODUCTION

Depuis quelques années et en liaison avec le développement des moyens de calculs et l'évolution de la technologie informatique, de nombreuses études biologiques font appel aux méthodes d'analyses multidimensionnelles ; celles-ci sont en effet particulièrement bien adaptées à la compréhension de problèmes biologiques divers, grâce à la description qu'elles assurent des principales relations et interactions liant les multiples caractéristiques étudiées.

Dans cette optique, nous avons utilisé la méthode d'analyse en composantes principales pour mieux approcher la réalité d'un essai comparatif de formulations insecticides en culture cotonnière. En effet, les analyses statistiques isolées des observations réalisées, entreprises habituellement au terme de l'essai, offrent une mosaïque dispersée d'images statiques tenant peu compte des actions et réactions existant dans le temps à l'intérieur du « système biologique » étudié. Devant la complexité de cette réalité, nos ambitions étaient limitées à la présentation d'une image synthétique des résultats obtenus, aussi peu déformée que possible.

Notre choix s'est porté sur un essai, réalisé en 1978 sur la station de Bébedjia (Tchad), dans lequel des différences marquées étaient apparues dans le contrôle des populations déprédatrices, tant au niveau d'un même objet (en raison d'infestations inégales des parcelles) qu'entre objets. Par cet exemple et cette méthode d'analyse, nous souhaitions sélectionner parmi les observations envisagées celles qui ont contribué le plus à la différenciation des formules comparées, et établir une priorité pour leur réalisation.

Notre but n'était pas de comparer deux méthodes d'analyse d'essais comparatifs des formulations insecticides, dont les objectifs sont différents. Les méthodes multivariées, comme l'analyse en composantes principales, ne permettent pas de résoudre un problème, elles se contentent de le décrire, en se limitant aux traits essentiels ; à l'opposé, les analyses monovariées permettent d'établir des classements qui assurent les décisions qui seront prises ultérieurement, en les affectant de risques d'erreur fixés *a priori*.

1. Service Biométrie I.R.C.T. Montpellier.  
2 et 3. Division phytosanitaire I.R.C.T. Paris.

## DESCRIPTION DE L'ESSAI

## Caractéristiques de la campagne 1978

La climatologie de l'année 1978 a été dans son ensemble favorable à une bonne campagne cotonnière : la pluviométrie totale y a été abondante (1 260 mm), les pluies furent précoces, la répartition des précipitations de mai à septembre a été régulière et l'ensoleillement de juillet et août suffisant. Seule, la relative sécheresse du début du mois de juin a pu nuire à la culture en ralentissant le développement des jeunes plantules et en retardant la levée des derniers semis.

Sur le plan phytosanitaire, la campagne cotonnière 1978 a été marquée dès le début de la floraison par l'importance des populations larvaires de *Diparopsis watersi* (Roths.). Cette pression parasitaire s'est maintenue jusqu'à la mi-septembre, puis s'intensifia brusquement, comme cela est habituellement observé. Parmi les autres prédateurs des organes fructifères, *Heliothis armigera* (Hbn.) et *Earias* spp. se manifestent essentiellement en fin de cycle ; *Cryptophlebia leucotreta* (Meyr.) apparaît tardivement. Des pullulations locales (épargnant l'essai) de *Sylepta derogata* (F.) ou de *Spodoptera littoralis* (Boisd.) sont observées. Parmi les Hémiptères, seul l'Aleurode *Bemisia tabaci* (Genn.) attire l'attention ; *Aphis gossypii* Glov. reste inférieur aux seuils habituels d'infestation et *Dysdercus voelkeri* Schm. comme *Nezara* sp., n'atteignent jamais des niveaux économiquement nuisibles.

### Implantation. Opérations culturales. Modalités de l'essai

Cet essai a été implanté dans une parcelle de multiplication de la variété Y1422. La répartition des blocs a été faite sur deux bandes de culture contiguës de 20 mètres de large ; l'une, en bordure de parcelle, présentait un meilleur développement des cotonniers, mais était plus exposée aux infestations de *D. watersi*. Une très faible pente marquait cette implantation (fig. 1).

Les opérations culturales sont rappelées dans le tableau 1.

La parcelle a relativement souffert de la sécheresse du début du mois de juin qui provoqua un retard de la levée entraînant celui du premier sar-

clage manuel, malgré l'enherbement important du début de campagne. Des symptômes foliaires, rappelant ceux d'une déficience en calcium, apparaissent localement, sauf au niveau de l'essai.

Cinq formulations insecticides en concentré émulsifiable (EC) ont été comparées dans un dispositif expérimental en blocs de Fisher, à 8 répétitions. Chaque parcelle élémentaire comprenait 12 lignes de 20 mètres. Les applications insecticides décadaires ont débuté le quarantième jour après la levée et furent réalisées à l'aide d'un tracteur enjambeur DEROT-TECNOMA, équipé d'une rampe de pulvérisation couvrant les huit lignes centrales de chaque parcelle. Les dates des différentes applications sont les suivantes : 28/7, 7/8, 18/8, 27/8, 5/9, 15/9, 25/9, 5/10 et 14/10. Le volume de bouillie épandue par hectare est voisin de 160 litres.

De nombreuses observations ont été réalisées au sein de cet essai, en respectant les méthodologies suivantes :

#### Floraison

Trois dénombrements par semaine des fleurs du jour apparues sur une ligne par parcelle élémentaire.

#### Sheddings

Trois relevés par semaine des organes fructifères tombés dans un interligne par parcelle élémentaire, en distinguant les sheddings préfloraux, l'un non parasitaire et l'autre d'origine parasitaire, et les sheddings postfloraux, l'un non parasitaire et l'autre d'origine parasitaire. Les sheddings parasitaires ne sont relatifs qu'aux attaques de chenilles de la capsule (*D. watersi*, *H. armigera*, essentiellement).

#### Chenilles des organes fructifères

Deux dénombrements par semaine sur huit échantillons de cinq plants successifs par parcelle élémentaire. Les pontes des différents prédateurs sont relevées en respectant la même technique d'échantillonnage.

#### Taille des cotonniers à la récolte

Un échantillon de 20 plants sert à cette estimation au niveau parcellaire.

Objet	Matières actives	Concentration	Nom commercial	Dosage l/ha x appl.
A 22 a .....	endosulfan-DDT .....	300 300 150	Péprothion	2,07
B 28 f .....	monocrotophos-DDT ..	100 300	Nuvacron B-400	3,01
C 15 c .....	décaméthrine .....	12,5	Décis NH E.C.	1,03
D 24 c .....	fenvalérate .....	100	Sumicid E.C.10	0,75
E 13 a .....	cyperméthrine .....	100 (*)	Cymbush E.C.10	0,37

(\*) Objet E = surdosage lors des applications du 7 et du 18/8.

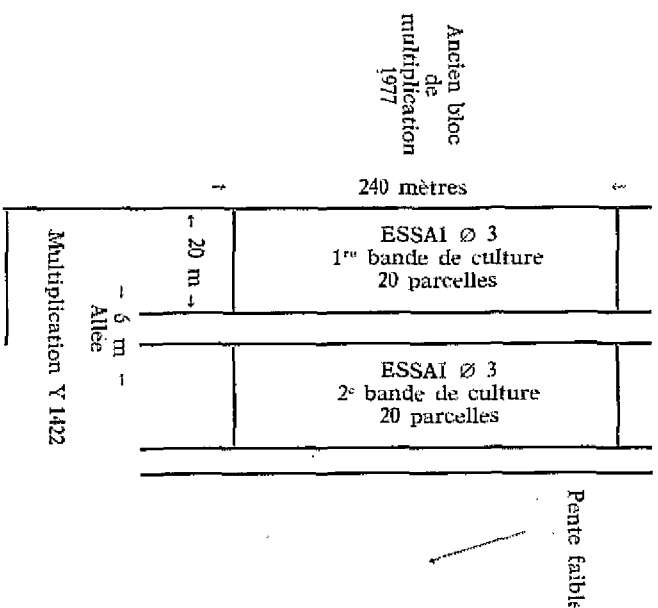


Fig. 1. — Implantation de l'essai.

Tableau 1. — *Opérations culturales*

Nature	Dates
Semis .....	5-7/6
Resemis .....	19-22/6
Demariage .....	3/7
Sarclages mécaniques	
1 .....	21/6
2 .....	26/6
3 .....	11/7
4 .....	19/7
Sarclages manuels	
1 .....	26/6-4/7
2 .....	5-8/7
3 .....	7-9/8
4 .....	23-25/8
Butage .....	25/7
Fertilisation minérale	
1 .....	7/7
2 .....	24/7
3 .....	9/8

Tableau 2. — *Tchad* (1978)

	Dose l/ha	Floraison	Shedding total		Shedding parasitaire		Diparopsis	Heliothis	Earias	% capsules saines	PMC g	R 1	R 1 + R 2	R 1 + R 2 + R 3
			préfloral	postfloral	préfloral	postfloral	watersi	armigera					kg/ha	
22 a	2	1 460,4	1 690	3 766	495 b	263 c	644,7 c	26,3	8,8	85,9	3,98 a b	522,5 b	1 433,6 c	1 893,6 b
28 f	3	1 387,8	1 550	3 581	479 b	235 b c	685,3 b c	35,0	11,3	89,4	4,23 a	634,9 b	1 636,1 b c	2 149,9 a
15 c	1	1 468,0	1 109	3 455	186 a	125 a	226,5 a	16,3	11,3	86,2	3,73 b	878,8 a	1 856,7 a b	2 159,2 a
24 c	0,75	1 541,5	1 251	3 488	213 a	137 a b	307,3 b	11,3	2,5	89,1	3,90 b	903,1 a	1 878,3 a	2 345,8 a
13 a	0,30	1 504,4	1 132	3 389	274 a	157 a b c	280,1 a,b	20,0	7,5	88,7	3,83 b	799,9 a	1 772,8 a b	2 124,1 a
T					log x	log x	log x			Arc sin √				
CV		11,0			9,1	14,3	7,3			5,4	7,5	20,5	13,2	10,5
Ft		1,02			11,7	3,37	27,3			0,93	3,30	9,17	6,75	4,17
Sx											1,30	54,1 kg/ha	81,0 kg/ha	78,9 kg/ha

**Poids moyen capsulaire sain**

Prélèvement et pesée de 100 capsules saines présentes sur une ligne par parcelle élémentaire.

**Analyse sanitaire à la récolte**

Dénombrement des capsules saines présentes sur une ligne par parcelle élémentaire, exprimé en % du nombre total de capsules.

**Récoltes**

Trois cueillette sur quatre lignes centrales par parcelle élémentaire sont effectuées aux dates suivantes : 23/10, 6/11 et 20/11. Les résultats sont exprimés en kg/ha de coton-graine.

**Interprétation des résultats par l'analyse de variance**

Les analyses de variance des observations périodiques cumulées sur toute la campagne, montrent une nette supériorité des pyrèthrinoides de synthèse pour le contrôle des déprédateurs des organes fruc-

tifères (cf. tabl. 2, sheddings d'origine parasitaire et dénombrements de populations larvaires de *D. watersi*). La dècamèthrine, à la dose employée, vient en tête de ces nouvelles matières actives. Cet avantage des pyrèthrinoides de synthèse ne transparait pas au niveau de l'analyse sanitaire. Au cours des récoltes, la précocité attachée aux pyrèthrinoides de synthèse, due vraisemblablement à la meilleure protection phytosanitaires qu'ils assurent en début de cycle de floraison, est manifeste; cet avantage de production s'amenuise au fur et à mesure des récoltes successives, car des phénomènes de compensation (jouant plus particulièrement en faveur de l'association monocrotophos-DDT) rééquilibrent les productions finales. Seul, le témoin (endosulfan-DDT-méthyl-parathion) se révèle insuffisant, à la dose employée, pour contrôler le parasitisme de cette campagne. Le fenvalérate (à 75 g/ha) est au moins équivalent à la dècamèthrine (à 12,5 g/ha); par contre, une augmentation de la quantité de cyperméthrine par hectare serait souhaitable.

Les classements présentés dans le tableau 2 ont été établis par le « Multiple Range Test » de Duncan à 5 %.

**ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES SUR LES DONNÉES DE L'ESSAI****Description de la méthode d'analyse****Représentation des données**

Soit une population finie de  $n$  individus (parcelles élémentaires) pour lesquels les valeurs prises par  $p$  variables sont mesurées (observations).

Cette population, vis-à-vis de ces variables, peut être représentée par un tableau (tableau de données ou matrice de données) comprenant  $n$  lignes (une par individu) et  $p$  colonnes (une par variable) dans lequel à l'intersection de la  $i$ ème ligne et de  $j$ ème colonne, se trouve inscrite la mesure de la variable  $j$  pour l'individu  $i$ :  $x_{ij}$ .

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & & j & & p \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1p} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{ip} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \end{matrix} = X$$

N.B. — Pour des raisons qui seront évoquées au cours de la description de cette méthode,  $X$  ne désignera pas la matrice des données initiales, mais la matrice qui en est déduite par centrage et réduction des variables.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j / \sqrt{n}}$$

Chaque individu  $i$  est caractérisé par  $p$  mesures, correspondant aux différentes variables, qui peuvent être considérées comme étant ses coordonnées dans l'espace des variables (à  $p$  dimensions), symbolisé par  $R^p$ . L'ensemble des individus  $i$  forment dans cet espace ce qu'on appelle le nuage des individus.

Inversement, chaque variable  $j$  est caractérisée par les  $n$  valeurs qu'elle présente au niveau des différents individus et qui peuvent être considérées comme ses coordonnées dans l'espace des individus (à  $n$  dimensions), symbolisé par  $R^n$ .

**Caractéristiques de la méthode****a) CENTRAGE DES VARIABLES**

Pour s'affranchir d'une hétérogénéité peu intéressante entre les moyennes des variables, on procède au centrage des données ( $X_{np}$  devient ainsi

$$Y_{np} | y_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_j, \quad \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}.$$

Cela revient à placer l'origine de l'espace des variables au centre de gravité du nuage des individus.

**Rappel de quelques définitions**

Soit  $R^p$  un espace vectoriel de dimension finie engendré par une base  $e_1, \dots, e_p$  (dim.  $R^p = p$ ).

$$e_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad e_p = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\underline{x} \in R^p \quad \underline{x} = \sum_{j=1}^p x_j e_j$$

**Produit scalaire :**

$$\text{de } \underline{x}_1, \underline{x}_2 : \langle \underline{x}_1, \underline{x}_2 \rangle = \underline{x}_1' \underline{x}_2 = \sum_{j=1}^p x_{1j} x_{2j}.$$

Coordonnée d'un point sur un axe  $\Delta e_i$  engendré par un vecteur de base  $e_i$  (unitaire) :  $x_i = \langle \underline{x}, \underline{e}_i \rangle$ .

**Norme d'un vecteur :**

$$\text{norme de } \underline{x} = \|\underline{x}\| = \sqrt{\langle \underline{x}, \underline{x} \rangle} = \sqrt{\sum_{j=1}^p x_j^2}.$$

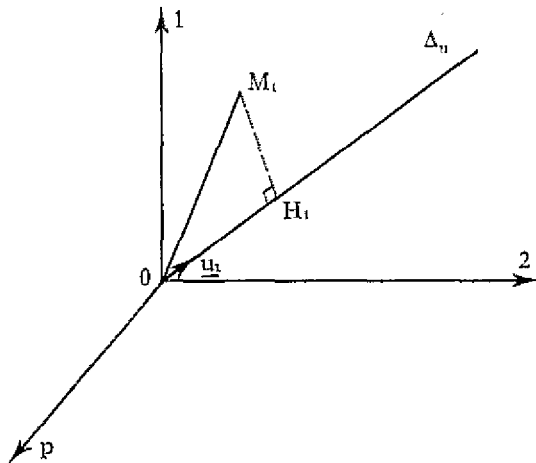
Distance entre deux points de  $R^p$ :

$$d(\underline{x}_1, \underline{x}_2) = \|\underline{x}_1 - \underline{x}_2\| = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{1j} - x_{2j})^2}$$

Orthogonalité:

$$\underline{x}_1 \text{ orthogonal à } \underline{x}_2 \implies \langle \underline{x}_1, \underline{x}_2 \rangle = 0.$$

## b) AJUSTEMENT DES INDIVIDUS DANS $R^p$



On cherche dans  $R^p$  un sous-espace vectoriel à une dimension (i.e. une droite), passant par l'origine 0 des axes, qui ajuste au mieux les  $n$  points ( $M_i$ ) du nuage des individus. Soit  $\Delta_n$  cette droite engendrée par le vecteur unitaire  $u_1$  ( $u_1' u_1 = 1$ ). Un individu  $i$ , représenté par le vecteur  $OM_i$ , se projette en  $H_i$  sur  $\Delta_n$  et:  $OH_i = \langle OM_i, u_1 \rangle$ .

Le critère d'ajustement choisi est celui des moindres carrés, car on cherche à rendre minimale la somme suivante:  $\sum_{i=1}^n M_i H_i^2$ . Chacun des  $n$  triangles «  $H_i O M_i$  » vérifie le théorème de Pythagore, et ainsi:

$$\sum_{i=1}^n OM_i^2 = \sum_{i=1}^n OH_i^2 + \sum_{i=1}^n M_i H_i^2$$

$$\sum_{i=1}^n M_i H_i^2 = \sum_{i=1}^n OM_i^2 - \sum_{i=1}^n OH_i^2$$

Le tableau  $Y_{np}$ , des données centrées, détermine la quantité  $OM_i^2$ . Ainsi, minimiser  $\sum_{i=1}^n M_i H_i^2$  revient à maximiser  $\sum_{i=1}^n OH_i^2$ . Or:

$$OH_i^2 = \langle \underline{x}_i, \underline{u}_1 \rangle^2 = \underline{u}_1' \underline{x}_i' \underline{x}_i \underline{u}_1$$

et pour l'ensemble du nuage des individus:

$$\sum_{i=1}^n OH_i^2 = \underline{u}_1' \left( \sum_{i=1}^n \underline{x}_i' \underline{x}_i \right) \underline{u}_1 = \underline{u}_1' X' X \underline{u}_1.$$

La recherche du vecteur  $u_1$  conduit donc à trouver le maximum de la forme quadratique  $\underline{u}_1' X' X \underline{u}_1$ , sous la contrainte  $\underline{u}_1' \underline{u}_1 = 1$ . De la même façon, on cherchera le sous-espace à 2, 3 ... 1 dimensions ( $1 \leq p$ ) s'ajustant au mieux au nuage des individus. On démontre alors que les vecteurs  $u_1, u_2, \dots, u_p$  sont les vecteurs propres de la matrice  $X' X$  associés aux plus grandes valeurs propres  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ . Ces vecteurs  $u_i$  engendrent les composantes principales dont les valeurs propres  $\lambda_i$  sont les variances. Ainsi, chaque composante principale extrait ou « explique » une part de la variance totale du nuage. En général, les trois premières valeurs propres sont élevées et trois axes suffisent à une bonne représentation du nuage.

Remarque:

Dans  $R^p$ , la distance entre deux individus est fonction de leur ressemblance pour les variables observées. Soit  $\underline{x}_1$  et  $\underline{x}_2$  les vecteurs à  $p$  coordonnées représentant les deux individus:

$$d^2(\underline{x}_1, \underline{x}_2) = \sum_{j=1}^p (x_{1j} - x_{2j})^2.$$

Le nombre obtenu sera d'autant plus faible que les valeurs des composantes de  $\underline{x}_1$  et  $\underline{x}_2$  seront proches pour tous les  $j$  considérés. Si, dans cette expression de la distance, la  $k$ ème composante donne des valeurs élevées (le terme  $(x_{1k} - x_{2k})^2$  deviendra prépondérant), la variable  $k$  participera plus à la définition des proximités entre individus. Si on désire que toutes les variables jouent le même rôle, on les réduira en effectuant la transformation suivante:

$$z_{1j} = \frac{x_{1j} - \bar{x}_j}{s_j \sqrt{n}}; \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n}}$$

## c) AJUSTEMENT DES VARIABLES DANS $R^n$

Par un raisonnement analogue au précédent, mais dans  $R^n$ , on est conduit à considérer un vecteur unitaire  $v_1$  et une forme quadratique  $\underline{v}_1' X X' \underline{v}_1$  à maximiser. Soit  $v_1$  le vecteur propre de  $X X'$  associé à la plus grande valeur propre  $\mu_1$ :

$$X X' \underline{v}_1 = \mu_1 \underline{v}_1 \text{ dans } R^n \quad (1)$$

$$\text{or } X' X \underline{u}_1 = \lambda_1 \underline{u}_1 \quad (2)$$

en prémultipliant (2) par  $X$

$$(X X') X \underline{u}_1 = \lambda_1 X \underline{u}_1 \quad (3)$$

$\implies X \underline{u}_1$  vecteur propre de  $X X'$ ,  $\lambda_1 \leq \mu_1$

en prémultipliant (1) par  $X'$

$$(X' X) X' \underline{v}_1 = \mu_1 X' \underline{v}_1 \quad (4)$$

$\implies X' \underline{v}_1$  vecteur propre de  $X' X$ ,  $\lambda_1 \geq \mu_1$

donc  $\lambda_1 = \mu_1$ .

$$(2) \text{ et } (4) \implies X' \underline{v}_1 = \underline{u}_1 \quad (5)$$

si  $\underline{v}_1' \underline{v}_1 = 1$ ,  $\underline{u}_1' \underline{u}_1 = \underline{v}_1' X X' \underline{v}_1 = \mu_1$

$\underline{u}_1$  n'est pas unitaire, en prémultipliant (5) par  $X$

$$X \underline{u}_1 = X X' \underline{v}_1 = \lambda_1 \underline{v}_1 \implies \underline{v}_1 = \frac{1}{\lambda_1} X \underline{u}_1$$



en posant

$$\underline{y}_1 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} X \underline{u}_1 \text{ et } \underline{u}_1 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} X' \underline{y}_1$$

$$\underline{y}_1' \underline{y}_1 = \frac{1}{\lambda_1} [X \underline{u}_1]' X \underline{u}_1 = 1$$

$$\underline{u}_1' \underline{u}_1 = 1.$$

$\underline{u}_1$  engendre la première composante principale dans  $R^p$ .

$\underline{y}_1$  engendre la première composante principale dans  $R^n$ .

#### Remarque :

Lorsque les variables jouent un rôle similaire (les données sont réduites), la distance dans  $R^p$  entre deux variables  $j$  et  $j'$  devient :

$$d^2(j, j') = \sum_{i=1}^n (z_{ij} - z_{ij'})^2 =$$

$$\sum_{i=1}^n z_{ij}^2 + \sum_{i=1}^n z_{ij'}^2 - 2 \sum_{i=1}^n z_{ij} z_{ij'}$$

$$\text{or } \sum_{i=1}^n z_{ij}^2 = \frac{1}{n s_j} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = 1$$

$$\text{donc } d^2(j, j') = 2 \left(1 - \sum_{i=1}^n z_{ij} z_{ij'}\right) = 2(1 - \rho_{jj'})$$

$$\text{car } \sum_{i=1}^n z_{ij} z_{ij'} =$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ij'} - \bar{x}_{j'}) / s_j s_{j'} = \rho_{jj'}$$

où  $\rho_{jj'}$  est le coefficient de corrélation entre les deux variables.

Ainsi, la transformation des données par centrage et réduction des variables permet d'obtenir tous les points variables sur une « sphère » de rayon 1 centrée à l'origine. D'autre part, il faut remarquer que des variables très corrélées peuvent être, soit très proches, soit très éloignées ( $\rho_{jj'} = 1$  ou  $\rho_{jj'} = -1$ ). Par contre, des variables orthogonales sont à distances moyennes.

#### Coefficient de corrélation variable-composante principale

On s'intéresse au coefficient de corrélation  $\rho_{j1}$  existant entre la  $j$ ème variable engendrée par  $\underline{z}_j$  et la  $q$ ème composante principale  $\underline{Z}\underline{u}_q$  correspondant aux coordonnées des différents individus du nuage sur la  $q$ ème composante principale.

$$\rho_{j1} = \frac{\text{cov}(\underline{z}_j, \underline{Z}\underline{u}_q)}{\sqrt{\text{var } \underline{z}_j} \cdot \sqrt{\text{var } \underline{Z}\underline{u}_q}} = \frac{\text{cov}(\underline{z}_j, \underline{Z}\underline{u}_q)}{\sqrt{\lambda_q}}$$

$$\text{or, } \text{cov}(\underline{z}_j, \underline{Z}\underline{u}_q) = \frac{1}{n} \underline{z}_j' \underline{Z}\underline{u}_q = \lambda_{qj} \underline{u}_{jq}$$

$$\text{ainsi, } \rho_{j1} = \sqrt{\lambda_{qj}} \underline{u}_{jq}.$$

Ainsi, les coordonnées des variables sur les composantes principales s'interprètent en terme de corrélations avec ces composantes.

#### Remarques :

Les programmes sur ordinateur tracent généralement sur des graphiques séparés les individus (espace  $R^p$ ) et les variables (espace  $R^n$ ).

Il est cependant commode de faire une représentation simultanée des deux espaces, sans les confondre. À partir de cette représentation, on jugera :

- des proximités entre individus qui traduisent des comportements semblables vis-à-vis des variables ;
- des proximités entre variables qui s'interprètent en termes de corrélation ;
- des positions des variables par rapport aux composantes principales permettant la dénomination des axes ;
- des proximités entre deux individus et l'ensemble des variables ou de deux variables et l'ensemble des individus.

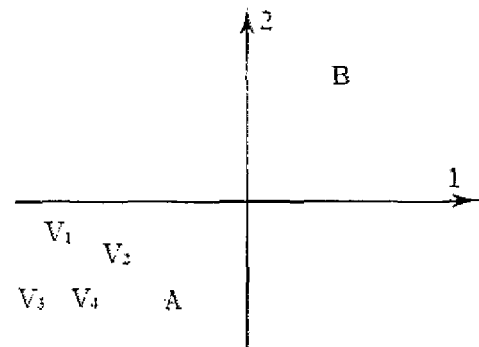
#### Quelques cas de figure avec des variables chronologiques

##### Notations employées

- 1 et 2 sont les deux premières composantes principales ;
- A et B les projections de deux individus dans ce plan ;
- $V_1, V_2, V_3, V_4$  les projections des variables dans  $R^2$  dont les coordonnées sont les composantes des vecteurs propres de la matrice  $U_{rp}$ .

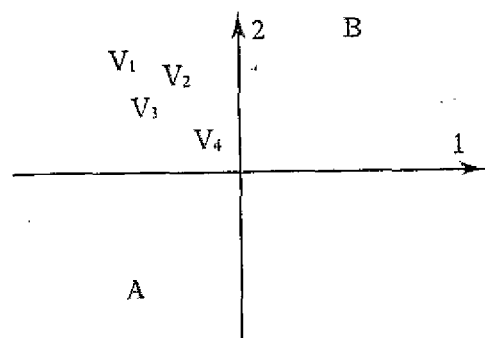
##### Cas 1 :

Le critère V est responsable de la séparation des deux individus A et B. Cette situation demeure constante de la date 1 à la date 4.



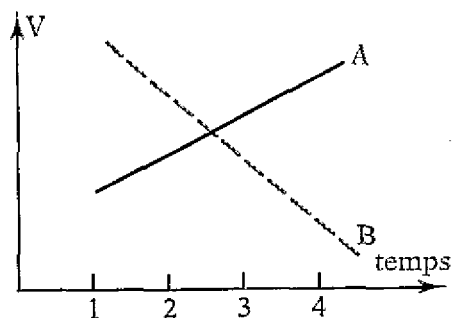
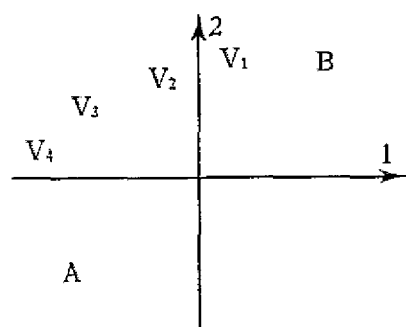
##### Cas 2 :

Le comportement des individus A et B à travers le critère V est comparable et demeure stable de la date 1 à la date 4.



## Cas 3 :

Le graphique traduit des comportements différents des individus A et B pour le critère V, dans le temps (inversion ou interaction). On peut schématiser comme suit ce phénomène :



## Description des variables

Les variables de l'essai (observations) peuvent se classer en deux catégories : les variables d'observations périodiques (floraison, sheddings et dénombrements de populations de *D. watersi*), et les variables que l'on peut considérer comme résultantes (analyse sanitaire, récoltes, taille, poids moyen capsulaire sain...). Toutes les variables d'observations périodiques sont fractionnées et représentées par quatre ou cinq sous-variables dont les valeurs parcellaires correspondent aux cumuls des observations élémentaires réalisées pendant un intervalle de temps déter-

miné arbitrairement. L'analyse en composantes principales a porté sur ces sous-variables dont les définitions sont données ci-dessous.

## Floraison

FLO 1	cumul des observations du	1/ 8 au 15/ 8
FLO 2		16/ 8 au 31/ 8
FLO 3		1/ 9 au 15/ 9
FLO 4		16/ 9 au 30/ 9
FLO 5		1/10 au 10/10

## Shedding préfloral non parasitaire

SF 1	organes préfloraux tombés du	1/ 8 au 15/ 8
SF 2		16/ 8 au 31/ 8
SF 3		1/ 9 au 15/ 9
SF 4		16/ 9 au 30/ 9

## Shedding postfloral non parasitaire

SPF 1	capsules tombées du	1/ 8 au 31/ 8
SPF 2		1/ 9 au 15/ 9
SPF 3		16/ 9 au 30/ 9
SPF 4		1/10 au 10/10

Shedding préfloral parasitaire  
(transformation utilisée : log x)

SFP 1	cumul des observations du	1/ 8 au 15/ 8
SFP 2		16/ 8 au 31/ 8
SFP 3		1/ 9 au 15/ 9
SFP 4		1/10 au 10/10

Shedding postfloral parasitaire  
(transformation utilisée : log x)

SPP 1	cumul des observations du	1/ 8 au 15/ 8
SPP 2		1/ 9 au 15/ 9
SPP 3		16/ 9 au 30/ 9
SPP 4		1/10 au 10/10

Dénombrements de chenilles de *D. watersi*  
(transformation utilisée : log x)

DW 1	cumul des observations du	1/ 8 au 15/ 8
DW 2		16/ 8 au 31/ 8
DW 3		1/ 9 au 15/ 9
DW 4		16/ 9 au 30/ 9
DW 5		1/10 au 10/10

Pour éliminer l'effet bloc (relativement important dans cet essai), on a procédé à une transformation des données initiales ; en analyse de variance monovariable, le modèle sous-jacent d'une expérimentation à deux voies (traitements-blocs) est le suivant :

$$\begin{aligned}
 x_{ij} &= m + a_i + b_j + e_{ij}, \\
 m &= \text{moyenne générale}, \\
 a_i &= \text{effet des traitements}, \\
 b_j &= \text{effet des blocs}, \\
 e_{ij} &= \text{erreur résiduelle}.
 \end{aligned}$$

La part due aux blocs est alors estimée par l'expression :

$$b_j = \bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..} \text{ avec : } \bar{x}_{.j} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{ij}$$

$$\bar{x}_{..} = \frac{1}{kl} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l x_{ij}$$

k = nombre de traitements,  
l = nombre de blocs.

En réalisant la transformation  $y_{ijp} = x_{ijp} - (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})$  pour chaque valeur du tableau de données initial ( $X_{ijp}$ ), on éliminera l'effet bloc, avant de procéder au centrage et à la réduction des variables (i indice de l'individu, j indice du bloc, p indice de la variable). Les variables résultantes seront considérées comme des variables illustratives et seront projetées ainsi dans les premiers plans principaux. On projettera de la même façon les centres de gravités A, B, C, D et E, correspondant aux cinq formulations comparées.

#### Variables illustratives

- AS Analyse sanitaire à la récolte (transformation de Bliss utilisée).  
TA Taille des cotonniers à la récolte.  
PM Poids moyen capsulaire sain.  
PDW Pontes de *D. watersi*.  
R1 Première récolte.  
R2 Deuxième récolte.  
R3 Troisième récolte

#### Résultats de l'A.C.P.

##### Tableau des variables

Le tableau 3 récapitule les coefficients de variation des variables prises en compte lors de l'analyse en composantes principales; il révèle pour les variables périodiques, à l'exception des variables DWi, une évolution similaire de l'hétérogénéité constatée à leur niveau, laissant présager ainsi d'une interprétation identique dominante.

##### Tableau des corrélations (Annexe I)

Quelques liaisons élevées apparaissent entre certaines variables: SFP2-SPP1 (0,84), SFP1-SPP1 (0,80) ou encore SPF4-SF5 (0,80); mais les valeurs observées sont dans l'ensemble moyennes et les plus faibles corrélations existent entre les variables de floraison et les variables parasitaires (sheddings parasitaires ou dénombrements de populations de *D. watersi*). A l'exception des sous-variables de floraison ou de sheddings parasitaires du début de la campagne, on remarque une relative orthogonalité des sous-variables dans le temps. Par contre, FLO1, FLO2, FLO3 auraient mérite d'être regroupées en une seule variable (même remarque pour SFP1, SFP2 et SFP3), si aucune étude chronologique n'était souhaitée. Les tableaux de coefficients de corrélation réduits aux sous-variables d'un même type d'observation, révèlent une constance du signe qui garantit l'absence de perturbation brusque et corrélativement une certaine continuité d'évolution des phénomènes étudiés.

##### Interprétation des axes principaux

L'examen des valeurs propres montre que les deux premiers axes principaux prennent en compte 52,69 % de la variabilité totale du nuage ( $\lambda_1 + \lambda_2 / \sum \lambda_i$ ) des individus: l'axe 3 contribue encore pour 7,66 %, et ainsi une représentation de 60,35 % de l'information totale peut être obtenue dans un espace à trois dimensions (auquel nous limiterons cette étude, puisqu'il nous est le plus familier et qu'il faut attendre le onzième axe pour représenter 90 % de la variabilité totale du nuage des individus). L'interprétation des axes est facilitée par la lecture de la représentation simultanée des deux espaces (projection des variables dans  $R^2$ : cf. fig. 2).

Axe 1: 38,87 %

Il peut représenter ce que l'on a coutume d'appeler un « facteur taille » puisque, pour la plupart des variables, les valeurs élevées sont associées d'un

Tableau 3

Variables	CV %	Variables	CV %	Variables	CV %	Variables	CV %	Variables	CV %
FLO 1	39,87	SF 1	54,29	SPF 1	35,49	SFP 1	34,03	SPP 1	37,85
FLO 2	16,44	SF 2	37,70	SPF 2	18,40	SFP 2	20,85	SPP 2	23,43
FLO 3	10,25	SF 3	27,51	SPF 3	9,63	SFP 3	21,34	SPP 3	18,42
FLO 4	10,07	SF 4	23,43	SPF 4	20,00	SFP 4	17,91	SPP 4	36,60
FLO 5	23,03	SF 5	35,69			SFP 5	44,41		
				DW 1	22,19				
				DW 2	26,02				
				DW 3	33,14				
				DW 4	28,51				
				DW 5	38,89				



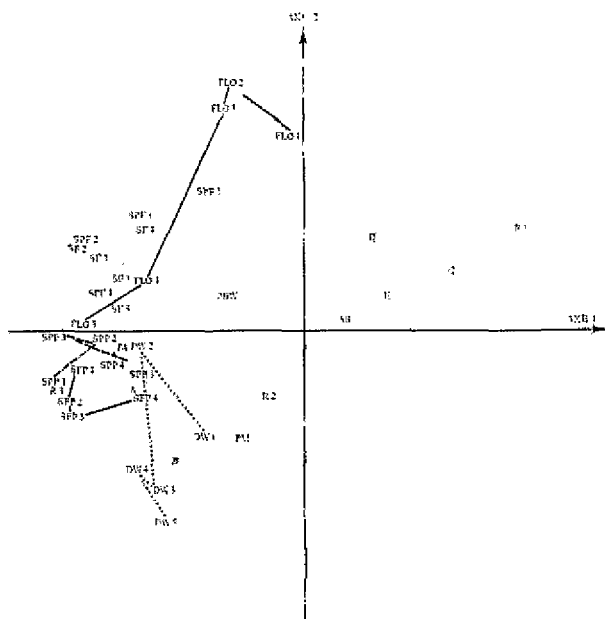


Fig. 2. — Projection des variables.

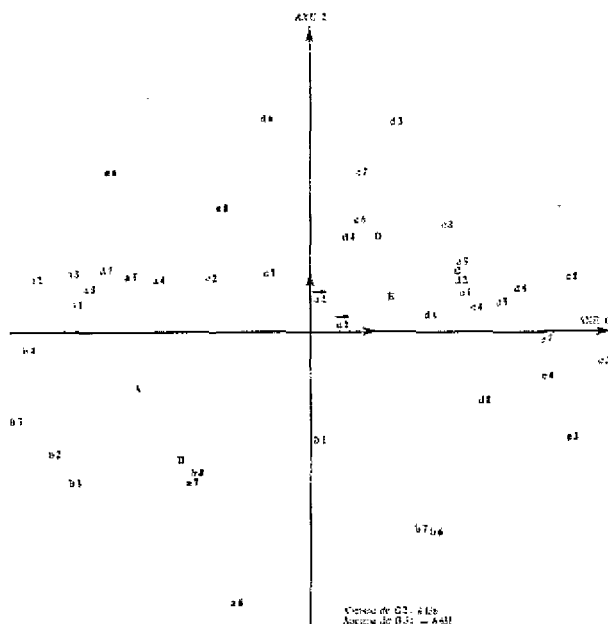


Fig. 3. — Projection du nuage des individus.

même côté de l'axe. Ainsi, plus le développement du cotonnier sera favorisé, plus les variables analysées présenteront des valeurs fortes (à l'exception de la floraison en début de cycle).

Le rapprochement des variables « physiologiques » et des variables « parasitaires » marquerait l'existence de phénomènes d'attraction différentielle de la

culture vis-à-vis des déprédateurs des organes fructifères ; cette attraction, liée aux potentialités des parcelles, diminuerait au cours du temps, si l'on se réfère à l'orientation chronologique des sous-variables de shedding parasitaire.

Mais, en examinant la contribution de chaque parcelle élémentaire à la définition de cet axe, on constate qu'une part à peine plus importante est accordée aux parcelles situées en bordure du bloc de multiplication (58 %) ; or, ces parcelles présentaient un meilleur développement des cotonniers et étaient plus exposées aux attaques de *D. watersi* (effet de bordure). Cette remarque pourrait infirmer la première interprétation de cet axe, si une attractivité différentielle ne se manifestait pas également au niveau de cette première bande de culture (cf. aux positions de c1, c2, c3 et c4 sur la figure 3), et si une élimination de l'effet bloc n'avait pas été pratiquée avant analyse.

Cependant, elle en atténue le caractère absolu.

Cet axe résulterait essentiellement de l'efficacité différentielle des matières actives, comparées sous de fortes pressions parasitaires (cf. aux positions respectives des parcelles traitées, soit avec des pyrèthroïdes de synthèse, soit avec des associations OC-OP\* : figure 3). Cette interprétation se superpose à celle de l'attractivité, qui vient d'être évoquée, puisqu'elle agit dans le même sens. Les positions des sous-variables de FLOi, marquées par « l'effet taille », traduisent des phénomènes de compensation aux attaques parasitaires, et sont nuancées par l'incidence des déprédateurs sur les volumes de floraison atteints : en effet, elles sont situées d'un même côté de l'axe et s'ordonnent chronologiquement de façon décroissante (incidence du parasitisme sur la floraison du début de cycle et phénomènes de compensation en fin de cycle). Une autre illustration est donnée par les variations du Ft\*\*, au cours du temps, pour la floraison cumulée (tabl. 4). Ainsi, l'efficacité du contrôle des populations déprédatrices et l'apparition progressive de phénomènes de compensation dominent la première interprétation (« attractivité différentielle de la culture ») et sont difficilement dissociables.

Tableau 4

Floraison cumulée au :	15/8	31/8	15/9	30/9	10/10
Ft	2.85	2.37	1.48	1.02	0.41

Axe 2 : 13,82 %

Il oppose de façon manifeste les variables « physiologiques » aux variables « parasitaires » et plus spécifiquement la floraison du début de cycle à la densité des populations de *D. watersi*, révélant ainsi l'incidence de ces dernières sur le volume de la floraison au cours de cette période. Les sous-variables DWi ne s'ordonnent pas chronologiquement sur cet axe. La position particulière de DW2 peut être attribuée au lessivage et à la faible persistance d'effet

\* OC-OP : association d'organochlorés-organophosphorés.

\*\* Ft : critère Ft de SNEDECOR appliqué aux traitements différentiels (formulations).

des pulvérisations insecticides lors des troisième et quatrième traitements, en liaison avec la fréquence et l'intensité des précipitations de la dernière quinzaine du mois d'août (cf. au tableau 5: Evolution du Ft au cours du temps). Cette période correspond par ailleurs au minimum d'infestation de la culture.

Tableau 5

	DW1	DW2	DW3	DW4	DW5
Ft	4.96	4.30	9.10	6.10	8.34

La position de la variable DW1 sur cet axe est également remarquable. En examinant le rapport variance/moyenne pour les variables DW'i (correspondant aux variables DW'i non transformées par la fonction logarithme), un écart sensible apparaît pour DW'i (cf. au tableau 6); ainsi, le choix d'une même transformation pour toutes les variables DW'i apparaîtrait discutable s'il ne rendait pas l'étude homogène. La répartition des populations larvaires de *D. watersi* varie dans le temps: elle diffère plus particulièrement entre la première vague d'infestation (en raison de l'effet de bordure) et le reste de la campagne au cours duquel le type de répartition est plus constant, stabilisé par l'effet des matières actives.

Tableau 6

	DW'1	DW'2	DW'3	DW'4	DW'5
$\sigma^2/\bar{m}$	3.91	5.05	5.13	3.18	5.71

Enfin, en raison des positions respectives des sous-variables de shedding parasitaire, cet axe révèle une meilleure corrélation entre les dénombrements de populations de *D. watersi* et l'intensité du shedding préfloral parasitaire qu'entre ces premiers et l'intensité du shedding postfloral parasitaire.

Axe 3: 7,66 % (cf. figures 4 et 5)

A l'exception des variables DW'i, cet axe oppose les sous-variables du début de campagne à celles de la fin du cycle cultural.

Considérant les variables « physiologiques », cet axe traduit des manifestations locales de précocité relative des différentes parcelles, principalement sensibles sur les volumes de floraison; ceci explique l'association d'un même côté de cet axe, de SF1, FLO1 et son opposition, selon cet axe, à SF5, FLO5, SPF4. La position particulière de SF2 est attribuable à la pluviométrie de la deuxième quinzaine du mois d'août (cf. au tableau 7 où l'évolution du Fb\* des analyses de variance des variables SF'i illustre également cette observation).

Tableau 7

	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5
Fb	4.23	2.43	4.32	2.47	3.62

Les variables de shedding d'origine parasitaire montrent une évolution parallèle, conséquence probable d'une inversion progressive des rapports d'activité entre parcelles, liée à leur précocité ou leur

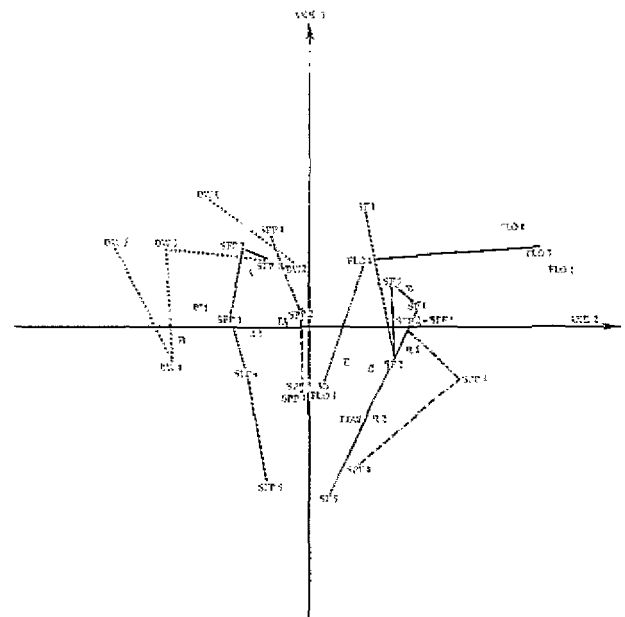


Fig. 4. — Projection des variables.

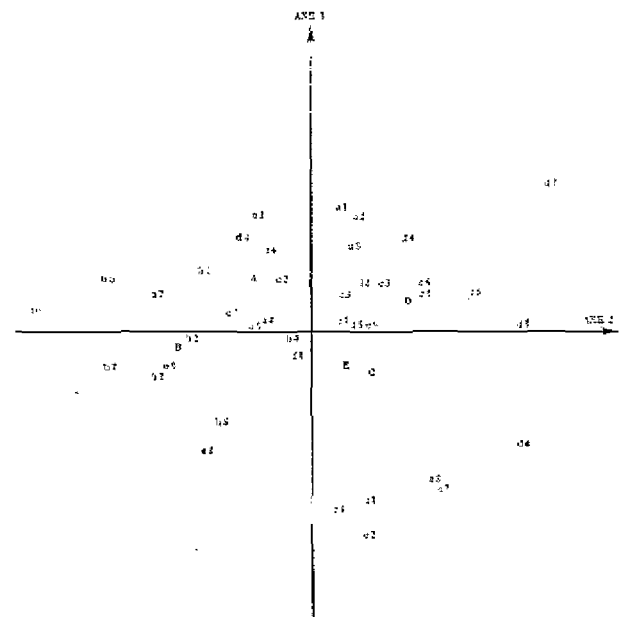


Fig. 5. — Projection des individus.

tardiveté. Mais, les sous-variables DW'i ne suivent pas cette évolution et une modification des rapports d'efficacité entre les doses des matières actives comparées, pour différentes densités de populations larvaires de *D. watersi*, est à suspecter. La relative faiblesse de certaines d'entre elles apparaît dans le

\* Fb : critère de SNEDECOR, appliqué aux blocs.

contrôle des populations du 16/9 au 30/9 (Position particulière de DW4; cf. au tableau 5 où le Ft de DW4 est inférieur à ceux de DW5 et de DW3; DW4 correspond, par ailleurs, au maximum d'infestation de la culture).

#### Positions des centres de gravité A, B, C, D et E

Dans le plan 1.2 (cf. figure 2), les formulations comparées se répartissent en deux groupes distincts : le groupe des associations « O.C.-O.P. » et celui des pyrèthrinoides de synthèse. Conformément aux interprétations données précédemment, cette différenciation tient aux écarts marqués dans le contrôle des populations déprédatrices, visibles tant au niveau du shedding d'origine parasitaire (axe 1) qu'au niveau des dénombrements de populations larvaires de *D. watersi* (axe 2). Cette différenciation a été constante dans le temps. L'emploi des pyrèthrinoides de synthèse assurant une meilleure protection des organes fructifères, a garanti une floraison plus abondante en début de cycle (axe 2). Par contre, des phénomènes de compensation ont permis aux associations « O.C.-O.P. » de réduire les différences constatées, dans la mesure où ils ont pu (pleinement) jouer (axe 1: FLO 4, FLO 5 et « effet taille »).

L'axe 3 apporte une différenciation supplémentaire au sein des groupes précédents : A s'oppose à B, et D à C et E. Si des manifestations locales de précocité sont évoquées pour l'interprétation de cet axe, il serait hâtif d'attribuer une action différentielle des matières actives sur celles-ci, car seules quelques parcelles ont permis sa définition (6 pour 55,3 % et 11 pour 78,3 %). L'opposition est surtout marquée entre A et B, car les phénomènes de compensation ne semblent avoir joué que pour B (épuisement relatif des parcelles de l'objet A qui fleurissent abondamment en début de cycle). Pour C et E opposés à D, l'examen des positions des parcelles sur l'axe 3 révèle une répartition voisine (tabl. 8) infirmant celle observée pour les centres de gravité. Certes, la floraison en début de cycle participe essentiellement à cette distinction, mais une efficacité constante, au cours de la campagne, de la dose de fenvalérate et/ou une insuffisance des doses de cyperméthrine et de dècaméthrine pour les fortes densités de déprédateurs, atténuant les différences observées en début de campagne, peuvent être suspectées (rappelons que, lors des deuxième et troisième applications, la dose de cyperméthrine a été augmentée involontairement).

Tableau 8

Axe 3	C	D	E
+	5	6	5
0			
-	3	2	3

#### Positions des variables illustratives

La variable TA (taille des plantes) présente le coefficient de corrélation le plus élevé avec l'axe 1. Son signe et sa valeur confirment l'interprétation que nous avons donnée à cet axe, ayant pour conséquence l'influence du parasitisme sur la taille des cotonniers. Les corrélations présentées par la variable PM (poids moyen capsulaire sain) avec les trois premiers axes principaux sont faibles : la plus élevée existe avec l'axe 2 et résulte peut-être de l'action soupçonnée du monocrotophos. La variable AS (pourcentage de capsules saines à la récolte) est encore plus faiblement corrélée avec les axes principaux : elle s'oppose logiquement aux variables parasitaires selon l'axe 1, et rend responsable des valeurs présentées l'action des déprédateurs en fin de campagne, selon l'axe 3.

Pour la variable PDW (pontes de *D. watersi*), les liaisons avec les axes principaux sont faibles et difficiles à interpréter ; l'importance, dans le cumul, des dénombrements réalisés en fin de campagne, est probablement l'origine des faibles liaisons présentées ; d'autre part, aucune action différente des matières actives (effet répulsif) n'est à suspecter.

La première et la troisième récoltes sont très étroitement liées à l'axe 1 et s'opposent selon celui-ci. Outre l'influence de l'« effet taille », qui s'inverse au cours du temps, ces positions mettent en évidence une incidence du parasitisme de cette campagne sur la première récolte et une traduction des phénomènes de compensation sur la dernière. Les coordonnées de ces deux récoltes sont faibles sur les autres axes et une équation de régression linéaire, par rapport à l'axe 1 peut être recherchée avec satisfaction pour chacune d'elles.

En corollaire, des liaisons linéaires intéressantes doivent apparaître, pour chacune d'elles, avec les variables de shedding d'origine parasitaire.

La deuxième récolte est très faiblement corrélée avec les premiers axes principaux : le coefficient de corrélation le plus élevé la lie à l'axe 3, et indique une incidence plus grande des variables de fin de cycle sur son volume ; la traduction des phénomènes de compensation serait déjà sensible sur cette tranche de récolte, en raison de la position occupée par cette variable dans le premier plan principal.

Enfin, les valeurs des coordonnées de cette récolte sur les axes principaux guident les études quantitatives vers des liaisons non linéaires avec les sous-variables prises en compte dans cette A.C.P.

#### Conclusion

Cette analyse en composantes principales permet de compléter les interprétations issues des analyses de variance entreprises séparément sur les différentes observations (cf. tableau 2). Elle met en évidence des interactions qui, par une étude chronologique, assurent une meilleure approche descriptive

de l'ensemble de l'essai. En outre, elle permet de déterminer les variables ayant le plus contribué à la différenciation des formulations et d'établir ainsi, bien qu'*a posteriori*, un ordre de priorités pour leur réalisation.

### Description des résultats de l'essai

Les différentes parcelles élémentaires auront été soumises à des pressions parasitaires variées, selon l'attraction qu'elles auront exercée au cours de la campagne, vis-à-vis des populations d'adultes de *D. watersi* (principale espèce déprédatrice), également selon leur position au sein de l'implantation de l'essai (effet de bordure), mais essentiellement selon l'efficacité de la protection phytosanitaire qu'elles auront reçue. Puis, au cours du cycle cultural, des phénomènes de compensation aux attaques parasitaires s'y seront plus ou moins fortement exprimés en fonction de leurs potentialités respectives.

Cette analyse en composantes principales a, premièrement, scindé les formulations comparées en deux groupes : celui des pyréthrinoides de synthèse et celui des associations « O.C.-O.P. ». La différenciation a porté essentiellement sur le contrôle des populations déprédatrices des organes fructifères, et plus spécifiquement *D. watersi*. La meilleure efficacité des pyréthrinoides (ANGELINI, 1976 ; DELATTRE, 1978) est apparue constante, bien que parfois moins marquée lors de conditions pluviométriques adverses. Elle s'est traduite par une importance plus faible des pertes en organes fructifères dues aux chenilles de la capsule dont la répercussion fut sensible sur le volume de la floraison en début de cycle et la quantité de coton-graine ramassée lors de la première récolte (les structures des premières branches fructifères, présentées en figure 6, confirment cette interprétation). Mais les conditions climatiques particulières de la campagne 1978, sur la station de Bébedjia, ont permis l'expression de phénomènes de compensation aux attaques parasitaires, en fonction des potentialités de chaque parcelle. Ils ont été graduels dans leur intensité et marquent principalement la fin de cycle où ils caractérisent les parcelles sur lesquelles la protection insecticide fut moins efficace, c'est-à-dire celles traitées avec des associations « O.C.-O.P. ». On note en effet sur celles-ci, par rapport à celles traitées avec des pyréthrinoides de synthèse, une floraison moins abondante en début de cycle dont le volume se rétablissant progressivement les favorise en fin de campagne. Ceci se répercute dans les récoltes successives et la dernière, plus importante, leur permet de compenser, plus ou moins, les écarts de production observés dans les récoltes précédentes par rapport aux nouvelles matières actives insecticides. La taille des cotonniers à la récolte reflète partiellement l'intensité de ces phénomènes de compensation (cf. tabl. 9) car, pour les deux associations « O.C.-O.P. », elle est relativement plus élevée. Ainsi, les pyréthrinoides de synthèse perdent en partie les avantages d'efficacité insecticide qu'ils présentent, par une réduction des phénomènes de compensation qui, au Tchad, ne les défavorise pas trop, mais dans d'autres pays les pénalise plus [E.C.A. (CAUQUIL, GUILLAUMONT, 1979)].

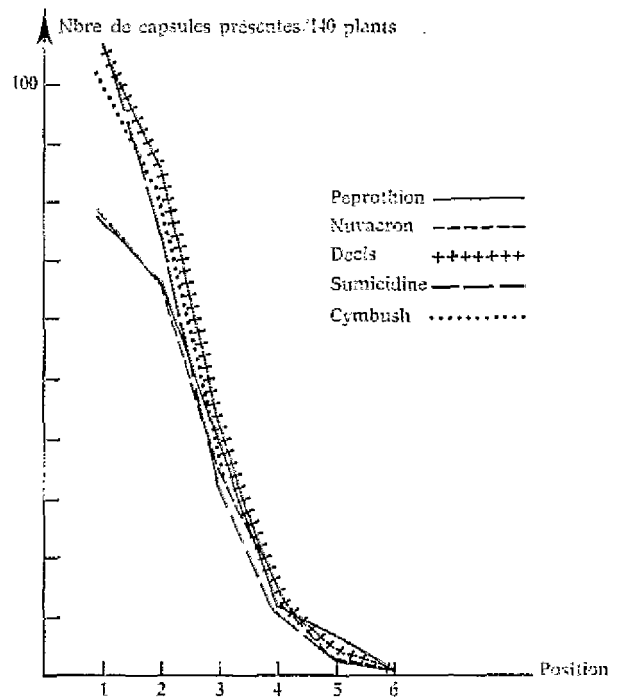


Fig. 6. — Structure moyenne des quatre premières branches fructifères.

Le taux de capsules saines à la récolte, bien que favorisé par une meilleure protection insecticide, n'a pas permis de mettre en évidence des différences statistiquement significatives entre les deux groupes de formulations. En effet, il semble déterminé essentiellement par l'incidence du parasitisme existant en fin de campagne. Pendant cette phase, les chenilles de *D. watersi*, *H. armigera* et *Earias* spp. ne s'attaquent qu'aux organes fructifères présents ; comparativement aux associations « O.C.-O.P. », les parcelles traitées avec des pyréthrinoides de synthèse leur offriront moins d'organes fructifères jeunes (les phénomènes de compensation étant réduits) et plus d'organes fructifères âgés (en raison de la meilleure protection qu'elles ont assurée antérieurement à cette phase) dont l'importance est plus élevée lors de l'établissement de l'analyse sanitaire finale ; ces parcelles se trouveront défavorisées. Mais un faible avantage leur subsiste, puisque la variable AS est relativement plus proche du groupe des pyréthrinoides de synthèse dans les premiers plans principaux ; il faut constater que l'objet A, qui compense moins, présente le plus faible taux de capsules saines.

Les écarts de récolte observés entre les deux associations « O.C.-C.P. » ne peuvent que partiellement être attribués aux faibles différences de contrôle des populations larvaires de *D. watersi* constatées en début de cycle. En effet, les parcelles traitées avec l'association endosulfan-DDT-méthyl-parathion manifestent une précocité de floraison qui n'a pas



pu se traduire sur la première récolte, en raison de la relative faiblesse de leur protection phytosanitaire. L'épuisement relatif de ces parcelles, en début de cycle, dû à cette précocité, réduit l'intensité des phénomènes de compensation ultérieurs, expliquant les différences obtenues en récolte totale.

Tableau 9

Objets	Taille en cm
A	146,3
B	149,9
C	131,1
D	135,8
E	134,6

La distinction entre le fenvalérate et la décaméthrine (ou la cyperméthrine) tient partiellement à la variation des rapports d'efficacité entre les doses de matières actives employées, en fonction des densités décroissantes des populations déprédatrices et de la diversification des espèces rencontrées (apparition en fin de cycle d'*H. armigera* et d'*Earias* sp.). En effet, les différences de volume de floraison en début de campagne, qui ne peuvent être attribuées à cette variation, rendent compte de cette distinction ; cependant, une action directe ou indirecte des matières actives sur ce phénomène physiologique doit être envisagée prudemment, même si la décaméthrine présente un *shedding* postfloral plus élevé malgré une floraison moins abondante au cours de ce début de cycle fructifère.

#### Choix des observations à réaliser

(cf. tableau 10 et figure 2)

La plus grande dispersion dans les positions des centres de gravité, des cinq formulations insecticides comparées, est observée sur l'axe 1 ; celui-ci différencie donc le mieux les objets de cet essai. En raison des corrélations présentées avec cet axe, les variables de *shedding* parasitaire ont eu un poids plus important que les variables de dénombrements de populations larvaires de *D. watersi* dans la différenciation des formulations ; s'il fallait privilégier l'une des deux observations, qui se réalisent simultanément, on choisirait le *shedding* préfloral d'origine parasitaire, puisqu'il provoque une meilleure dispersion sur l'axe 2. La mise en œuvre facile et la simplicité de ces observations renforcent ce choix qui coïncide avec celui établi par LEFORT, ANGELINI, COUILLOU (1974). La réalisation précoce des observations sur le *shedding* d'origine parasitaire, en liaison avec la phénologie de la plante, améliore la différenciation (cas particulier du parasitisme observé en 1978 sur la station de Bébedja, selon l'axe 1.

Toutefois, il convient d'attirer l'attention sur l'étroite liaison entre les variables de *shedding* d'origine parasitaire et « l'effet taille », de telle sorte

que, pour des essais moins homogènes en végétation, une priorité aux observations sur les dénombrements de populations de *D. watersi* devrait être accordée (avec l'axe 1, les corrélations présentées par les variables DWi ne sont pas négligeables ; d'autre part, elles contribuent principalement à l'interprétation de l'axe 2, qui après l'axe 1 offre la plus grande dispersion dans les positions des centres de gravité des formulations). Selon l'axe 2, les populations en fin de campagne seraient plus discriminantes. Mais la méthodologie employée doit être adaptée aux types de répartition rencontrés (définition de la taille de l'échantillon élémentaire et méthode d'échantillonnage).

Tableau 10

Axes	Distance maximale entre les centres de gravité
1	5,338
2	3,786
3	1,649
4	0,890

Parmi les autres observations, le fractionnement des récoltes est du plus grand intérêt dans les essais comparatifs de formulations insecticides : en effet, la première récolte a été le reflet de l'efficacité du contrôle des déprédateurs présents au début de la campagne, et les différences, qui peuvent apparaître entre formulations, disparaissent souvent à la seule lecture des résultats de récoltes totales, en raison des phénomènes de compensation. Les variables physiologiques, et essentiellement la floraison, par son évolution dans le temps et son volume au début de la campagne, apportent également des éléments intéressants l'optique phytosanitaire de cet essai. Par contre, une réserve doit être émise pour l'analyse sanitaire qui semble être essentiellement le reflet du parasitisme de fin de campagne et a très peu contribué à la différenciation des formulations. Les dénombrements de pontes, cumulés sur toute la campagne, apportent peu d'informations, probablement en raison des inversions d'attractivité relative des parcelles vis-à-vis des populations adultes de *D. watersi* ; très fortement influencée par les vols importants en fin de campagne (axe 3), elle ne met pas en évidence de différence entre les formulations (position médiane dans le plan 1.2 sur l'axe joignant le groupe des pyrétrinoïdes de synthèse à celui des associations « O.C.-O.P. » qui exercent donc le même effet répulsif, s'il existe, vis-à-vis des femelles de cette espèce.

Cependant, cette étude se réfère au cadre particulier d'un essai réalisé sur la station de Bébedja, dans les conditions parasitaires de la campagne 1978. Elle est donc caractéristique : d'un déprédateur, *D. watersi*, agissant seul ou presque dès le début de la campagne, d'un dispositif expérimental (dimensions des parcelles élémentaires), d'une implantation et de caractéristiques culturales précises. Ainsi, l'ordre de priorité, établi ci-dessus pour la réalisation des observations inhérentes à ce type d'essai, n'a qu'une valeur relative et toute généralisation



serait abusive. Des contextes parasitaires différents, par les espèces présentes, leurs densités, leur date d'apparition, leur succession dans le temps, etc., et plus évidemment encore par la nature des dégâts qu'elles provoquent, eurent conduit à des priorités différentes. D'autre part, l'ordre que nous avons établi est également dépendant de la méthodologie

respectée pour chaque observation ; ainsi, certaines d'entre elles nécessitent des modifications et d'autres méritent d'être affinées par des études parallèles (cas des dénombrements de populations de déprédateurs liés aux types de répartition spatiale rencontrés) pour mieux répondre aux objectifs de différenciation souhaités.

## DISCUSSION

L'analyse en composantes principales appliquées aux données recueillies au cours de cet essai en a assuré une bonne description. En considérant un ensemble de facteurs évoluant dans le temps, elle présente une image synthétique et dynamique qui tient mieux compte de la durée de réalisation de ces essais que l'étude des seules valeurs cumulées en fin de campagne (cliché final).

En révélant de nombreuses interactions entre les phénomènes étudiés, elle confirme en nuance le pouvoir descriptif des critères analysés et engage les conclusions retirées d'une expérimentation sur des voies plus explicatives. Cependant, elle reste complémentaire des analyses statistiques habituellement entreprises, car seules ces dernières permettent l'établissement de classements (avec risques d'erreur) à partir desquels s'opéreront des choix entre les formulations comparées.

Outre cet avantage descriptif, cette analyse nous a

permis de sélectionner les observations qui avaient le plus contribué à la différenciation des formulations au sein de cet essai. Malgré le caractère « a posteriori » des conclusions dégagées, on peut imaginer l'intérêt que présenterait cette méthode d'analyse si elle était entreprise systématiquement pour chaque essai mis en place ; il pourrait en résulter une diminution des coûts de réalisation de ce type d'essai par le choix judicieux des observations à effectuer, réalisé à partir des conclusions issues des analyses multidimensionnelles menées sur les données d'essais implantés antérieurement dans la même zone écologique ; on peut également envisager qu'en fonction de budgets limités, certaines observations puissent être retirées des protocoles de façon plus justifiable.

Enfin, bien que cela fut à peine abordé au cours de cette étude, les analyses multidimensionnelles faciliteront, en les orientant, les approches quantitatives qui pourront être entreprises ultérieurement sur certaines variables prises en compte.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANGELINI A. et R. COUILLAUD, 1976. — Premiers résultats obtenus en Côte d'Ivoire avec les pyréthri-  
noïdes dans la lutte contre les ravageurs du coton-  
nier. *Cot. Fib. trop.*, 31, 3, 323-326.
- CAILLET F. et J.P. PAGES, 1976. — Introduction à l'ana-  
lyse de données. 616 p., S.M.A.S.H., Paris.
- CAUQUIL J. et M. GUILLAUMONT, 1979. — Rapport an-  
nuel d'activités, année 1978-1979. Section phyto-  
sanitaire, UCC Bangui E.C.A., 134 p.
- DELATTRE R., 1978. — Efficacité des pyréthri-  
noïdes en culture cotonnière. *Phytopathologie-Phytopharmacie*, 27,  
1, 53-71.
- LEBART L. et J.P. FENELON, 1975. — Statistique et infor-  
matique appliquées. 439 p., DUNOD, Paris, 3<sup>e</sup> éd.  
revue et corrigée.
- LEBART L., A. MORINEAU et N. TABARD, 1977. — Tech-  
niques de la description statistique. DUNOD, Paris.
- LEFORT P.L., R. COUILLAUD et A. ANGELINI, 1974.  
Application de l'analyse multivariable à un essai  
comparatif de produits insecticides. *Cot. Fib. trop.*,  
29, 3, 319-326.
- SEARLE S.R., 1966. — Matrix algebra for biological  
sciences. John Wiley and Sons, Inc.
- VAISSAYRE M. et A. RENOU, 1979. — Rapport annuel  
d'activités. Section d'Entomologie. I.R.C.T. Bébed-  
jia, Tchad. Campagne 1978-1979, 60 p.

## SUMMARY

An attempt is made by the authors to show off from a set of phytosanitary observations on cotton culture in Bebedjia (Chad) that there exists a complementary relationship between principal components analysis and variance analysis used traditionally for this type of experimentation. The variance analysis applied to the cumulated results of observations about pests during the culture season or to the plot yields of the different treatments in comparison, gives elements for decision by classifying the formu-

lations with a chosen risk of error. The principal components analysis gives a descriptive and global picture of all the criteria observed and of their development during the period of the study. This dynamic description of the inter-relationships enables the contribution of the different variables used for the differentiation of the formulations tested to be evaluated and opens the ways to a greater understanding of the underlying processes, as well the possible re-orientation of their choice.

## RESUMEN

*Los autores de este artículo intentan evidenciar, en un conjunto de observaciones fitosanitarias en cultivo algodonero en Bebedjia (Tchad) en 1978, la complementariedad entre el análisis en componentes principales y el análisis de variación, utilizado tradicionalmente en este tipo de experimentación. El análisis de variación aplicado a los resultados acumulados de observaciones sobre el parasitismo durante la campaña, o de los rendimientos parcelarios de los tratamientos comparados, suministra los elementos de decisión entre estos tratamientos a través de las*

*clasificaciones, las formulaciones, con un riesgo de error determinado. El análisis en componentes principales, suministra una imagen descriptiva, pero sintética de todos los criterios observados y de su evolución en el periodo de estudio. Esta descripción dinámica de sus interrelaciones autoriza un juicio sobre la contribución a la diferenciación de las fórmulas probadas, de las diferentes variables retenidas y abre el camino a una actitud más explicativa de los fenómenos subyacentes así como a una reorientación posible de su selección.*

	FLO1	FLO2	FLO3	FLO4	FLO5	SF1	SF2	SF3	SF4
FLO1	1.000								
FLO2	0.7230	1.000							
FLO3	0.4198	0.7057	1.000						
FLO4	0.6971E-01	0.3106	0.3519	1.000					
FLO5	0.5805E-01	0.2237	0.1587	0.5074	1.000				
SF1	0.3199	0.3655	0.2814	0.3464	0.3558	1.000			
SF2	0.1521	0.3702	0.3180	0.4963	0.6512	0.3654	1.000		
SF3	0.1559	0.2848	0.3641	0.5411	0.4199	0.5819	0.5590	1.000	
SF4	0.3263	0.4142	0.3585	0.1398	0.2986	0.5258	0.4177	0.4300	1.000
SF5	0.2835E-01	0.1520	0.4148E-01	0.1604	0.6057	0.2789	0.5922	0.3367	0.3278
SFF1	0.1137	0.4065	0.4167	0.4096	0.3391	0.2934	0.7885	0.6351	0.2547
SFF2	0.2335	0.3529	0.3698	0.4405	0.6062	0.4874	0.6360	0.6342	0.5352
SFF3	0.1717	0.5270	0.5488	— 0.4850E-01	0.1803	0.2467	0.2384	0.2440	0.5228
SFF4	— 0.1120E-01	0.1737	0.2437	0.2506	0.6042	0.3352	0.5490	0.4144	0.3514
SFP1	— 0.1767E-01	0.1267	0.1876	0.4174	0.4554	0.5174	0.5263	0.4913	0.4127
SFP2	— 0.3693E-01	0.1574	0.2964E-01	0.5274	0.5674	0.5098	0.5898	0.4551	0.3423
SFP3	— 0.1985	— 0.7682E-01	0.1839E-01	0.3345	0.5457	0.3624	0.6209	0.5457	0.2362
SFP4	— 0.2171	0.3719E-01	0.2690E-01	0.3548	0.4405	0.1914	0.3016	0.2066	0.2245
SFP5	— 0.3391	— 0.5023E-01	0.2071E-01	0.1879	0.4199	0.2209	0.3819	0.3374	0.3172
SPP1	0.8169E-01	0.1537	0.1420	0.3834	0.4698	0.6321	0.5790	0.5006	0.4606
SPP2	0.5509E-01	0.1588	0.2015	0.3744	0.5854	0.4333	0.5257	0.6440	0.3261
SPP3	— 0.1086	0.1483	0.2567	0.4250	0.7313	0.3495	0.6678	0.5587	0.4954
SPP4	0.113	0.1484	— 0.7231E-02	0.2714	0.7016	0.2953	0.4733	0.3429	0.2622
DW1	— 0.3277	— 0.9562E-01	— 0.6094E-02	0.2661	0.1260	0.3181	— 0.2866E-01	0.1192	0.1069
DW2	— 0.2335E-01	0.1493	0.1612	0.3296	0.4526	0.3059	0.4209	0.2897	0.2149
DW3	— 0.2578E-01	— 0.1887	— 0.2421	0.1821	0.3936	0.3398	0.2264	0.3224	0.1964
DW4	— 0.2875	— 0.1823	— 0.1743	0.1133	0.4169	0.2365	0.2246	0.1096	0.2120
DW5	— 0.1701	— 0.3424	— 0.2702	0.4509E-01	0.2559	0.3075	0.1315	0.2489	0.1066

ANNEXE I  
MATRICE DES CORRELATIONS

SF5	SPF1	SPF2	SPF3	SPF4	SFP1	SFP2	SFP3	SFP4	SFP5	SF
1.000										
0.2767	1.000									
0.5123	0.5296	1.000								
0.3327	0.2540	0.2523	1.000							
0.8069	0.3318	0.6409	0.3683	1.000						
0.3725	0.3983	0.4635	0.3054	0.4876	1.000					
0.3894	0.3689	0.4546	0.8237E-01	0.4463	0.7706	1.000				
0.4615	0.4651	0.5719	0.4331E-01	0.5538	0.6424	0.6991	1.000			
0.3756	0.1914	0.3762	0.6083E-01	0.4940	0.2905	0.5457	0.3075	1.000		
0.6442	0.2465	0.2621	0.3170	0.5266	0.3128	0.2514	0.3730	0.4423	1.000	
0.3795	0.3692	0.5195	0.1992	0.4531	0.8010	0.8477	0.6455	0.4526	0.3097	1.0
0.4765	0.5121	0.5265	0.1050	0.4864	0.4654	0.4867	0.6682	0.5185	0.5056	0.4
0.5920	0.4382	0.6908	0.3865	0.6478	0.5659	0.6050	0.7126	0.4799	0.5867	0.6
0.5130	0.2024	0.3107	0.1296	0.4294	0.4978	0.4702	0.4531	0.1719	0.4112	0.3
— 0.1326E-01	— 0.7301E-01	0.2106	0.1060	0.6667E-01	0.4255	0.4302	0.3708	0.2390	0.1008	0.4
0.2831	0.3239	0.5084	0.1762	0.1703	0.3533	0.4609	0.4238	0.3623	0.2754	0.4
0.1982	0.2635E-01	0.1498	— 0.5697E-01	0.1281	0.4992	0.6633	0.5930	0.2573	0.2935	0.6
0.3887	0.9746E-01	0.1923	0.2602	0.3659	0.5745	0.4915	0.4430	0.4526	0.4788	0.5
0.9361E-01	0.1977E-01	0.1690	— 0.2222	0.1073	0.5236	0.5795	0.5882	0.4140	0.2241	0.5

P1	SPP2	SPP3	SPP4	DW1	DW2	DW3	DW4	DW5
00								
04	1.000							
30	0.5612	1.000						
93	0.3997	0.4603	1.000					
313	0.1973	0.2309	— 0.6995E-01	1.000				
796	0.5107	0.4664	0.1175	0.6437	1.000			
177	0.4429	0.4048	0.5257	0.2481	0.2965	1.000		
422	0.3733	0.5235	0.4668	0.4156	0.4156	0.4912	1.000	
380	0.5148	0.3549	0.3436	0.3064	0.2827	0.7978	0.5073	1.000